

南極 Victoria Land の Dry Valley 調査報告

VI. 岩石試料の年代測定

島 誠*

REPORT OF THE JAPANESE SUMMER PARTIES IN DRY VALLEYS, VICTORIA LAND, 1963-1965

VI. FISSION TRACK AGES OF ROCKS

Makoto SHIMA*

Abstract

Fission track ages have been measured for the basement complex rocks and the Ferrar Dolerite which occur in Dry Valleys, Victoria Land, Antarctica. The Dais Granite, the Vida

Granite and the Ferrar Dolerite are 520, 200 and 150 million years old, respectively. Fission track ages are in good agreement with the results obtained by other dating methods (K-Ar method and Rb-Sr method).

1. ま え が き

1965年12月上旬にDry Valley 地区に入り、岩石試料を採集してきた。南極各地の岩石の年代決定は、従来 K-Ar 法、Rb-Sr 法および鉛法によるものであり、fission track 法による年代決定は行なわれていない。今回 Vanda 湖周辺の岩石について、fission track 法による年代決定を行なったので報告する。

2. 地 質 お よ び 試 料

Vanda 湖附近の地質や地形などについては、既に McKELVEY らにより詳報されている¹⁾。Fig. 1 は彼等の報告した地質図をもとに、一部筆者により改訂されたものである²⁾。Fig. 1 の試料採集地点で各層序の岩石の試料をとり、帰国後薄片を作った。

本地域にはDais Granite の代表的な露出があり、次いで Vida Granite, Beacon Sandstone および Ferrar Dolerite の層が一望の下に見渡せる。これらの岩石層の試料については、Table 1 で示すように、多くの研究者により K-Ar 法や Rb-Sr 法で独立に年代が決定されている。これらの方法と比較する為に、fission track 法³⁾を試みて年代を決定した。

*理化学研究所。 The Institute of Physical and Chemical Research.

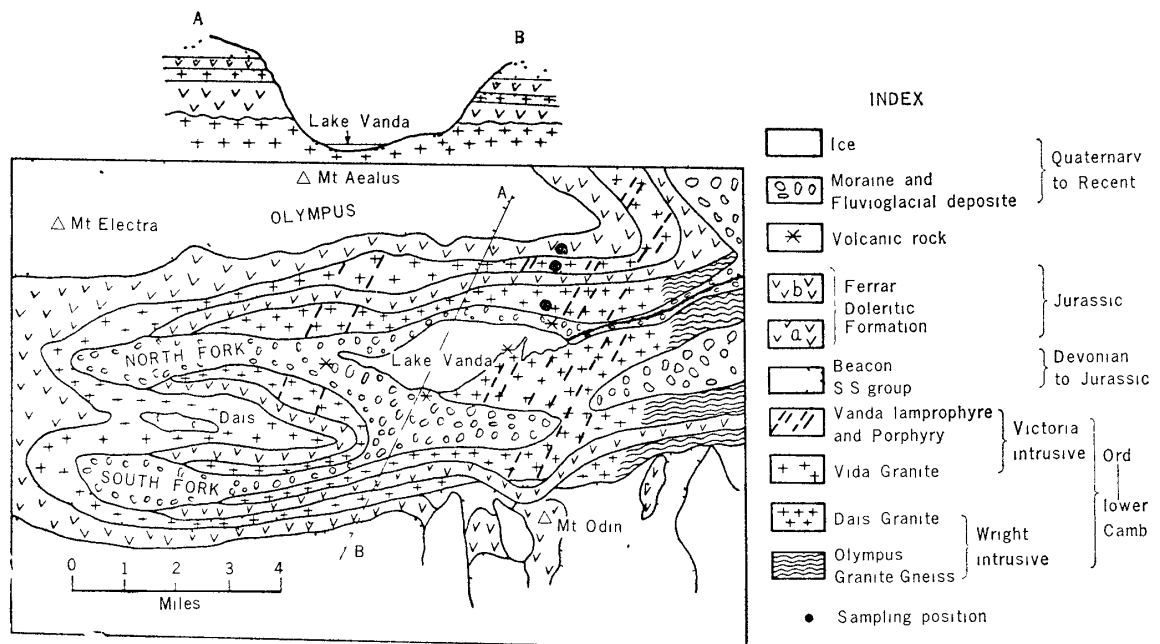


Fig. 1 Geological map of the vicinity of Lake Vanda (McKELVEY et al., modified by M. SHIMA)

使用した岩石の薄片を通常の偏光顕微鏡で観察したが、何れも McKELVEY らによって観察された結果と近似している。

Dais Granite はやや粗粒（約 50mm）の正長石が目立ち、石英、角閃石、黒雲母および灰曹長石の結晶（2~3mm）の中に斑晶のように散在している。副成分鉱物としては、燐灰石、シリコン、褐簾石が認められる。

Vida Granite は Dais Granite に比べると微粒の鉱物からなっている。構成鉱物は正長石、斜長石、石英、黒雲母および角閃石からなり、副成分鉱物としてシリコンなどが散在している。

Ferrar Dolerite は、McKELVEY らにより“a”、“b”および“c”の3層に分けて考えられている。筆者の試料はその内のbに相当するものと考え、構成鉱物は輝石と斜長石が主要なもので、石英もこれに次いで多い。黒雲母は少なく、主な副成分鉱物としては、燐灰石や褐鉄鉱と共に緑泥石も見え、相当に風化を受けた形跡がある。輝石は普通輝石、ピジオ輝石、および紫蘇輝石の3種が認められる。斜長石は曹長石に近い組成と思われる。

以上の三種の火成岩について、黒雲母を対象にその fission track を観察した。試料は通常の薄片の厚さの約3倍のものを作り、カバーガラスをつけないで用いた。これらの岩石の主要化学成分の分析と、そのノルム計算は後報で報告する。また、微量成分についても目下分析中なので、これも後に報告する予定である。

3. Fission track による年代決定法^{3, 4)}

各種の結晶質，非晶質の固体に高エネルギーの重い荷電粒子が当たるか，その内部で発生し通過すると大きなエネルギーの吸収がおり，粒子が静止するまでその飛跡にそって構造が部分的に破壊される．この飛跡は線状の放射線損傷に相当するものであるが，このような飛跡が保存されるものは絶縁性の物質に限られている．天然物質，特に本研究においては黒雲母であるが，雲母中に保存された飛跡は，(1) 重い元素の自然崩壊によるもの，(2) α 粒子， γ 線，中性子などが重い元素に衝突した時に生じる誘発崩壊によるもの，(3) 高エネルギーの宇宙線による重い元素の崩壊などによるものが考えられる．通常(2)(3)のような原因を一応ないものと仮定し，また(1)の場合にもウラン-235やトリウム-232を除いて，ウラン-238だけによるものと考えたと，fission track の density ρ_b は次のように表わせる．

$$\rho_b = N_0 C I(U^{238}) (e^{\lambda_D T} - 1) \times 2 \int_0^{R_0} q(Z) dz \frac{\lambda_F}{\lambda_D} \quad (1)$$

但し， N_0 : 単位体積中の原子数 C : ウラン-238の濃度 (atom/atom)
 λ : ウランの壊変定数 T : 試料の生成した時から現在までの時間
 λ_D : ウラン-238の壊変定数 I : ウランの同位元素存在比
 λ_F : ウラン-238の自然壊変定数 $q(Z)$: 平面 Z における壊変の数
 R_0 : fission fragment の飛程

(1) 式から T を求めるために，次の操作を行なう．Fission track (ρ_b) を数え終えた試料を熱中性子で照射し，新しく生じた track がすべてウラン-235 によるものであるとすれば，熱中性子照射後の track の density ρ_n は次式で表わせる．

$$\rho_n = \rho_b + N_0 C I(U^{235}) n \sigma \times 2 \int_0^{R_0} q(Z) dz \quad \dots \dots \dots (2)$$

但し， n : 中性子線量 σ : ウラン-235の核分裂断面積

(1)式と(2)式から

$$\frac{\rho_b}{\rho_n - \rho_b} = \frac{\lambda_F I(U^{238}) (e^{\lambda_D T} - 1)}{I(U^{235}) n \sigma} \quad \dots \dots \dots (3)$$

現在測定される年代，すなわち T が 10^9 年より小さいとすると，式の展開から約 8 % の誤差で

$$\frac{\rho_b}{\rho_n - \rho_b} = \frac{\lambda_F T I(U^{238})}{n \sigma I(U^{235})} = 2.08 \times 10^7 \left(\frac{T}{n} \right) \quad \dots \dots \dots (4)$$

但し，既知の定数 λ_D , λ_F , σ などの値を代入する．

(4) 式からわかるように，中性子照射前後の track の density を算定することて T (年代)

が求まる。このような年代決定法には、track をより見易くするためにエッチングの方法が重要になる。黒雲母試料を用いたので、次のような条件でエッチングを行なった。48%のフッ化水素を腐食液として用い、1分から10分の間表面をエッチングした。温度は室温(20~22°C)である。Track はエッチングの前は直径10m μ 、長さ10 μ くらいであるが、エッチング後は直径約1 μ くらいとなり、数百倍の光学顕微鏡で充分観察できる。本法によれば理論的には0.5年から 1.4×10^9 年くらいの巾のある年代が決定できることになるが、試料中のウラン含有量にも支配される。すなわち、ウラン含量の多いものは比較的新しい年代の試料に適し、古い年代の試料ではウラン含量の少ないものに適用される。保存される track は圧力に対して抵抗が強いが、熱の影響を受け易いので、地質年代とは言うものの、本法で求めた年代は熱変質を受けた以後の年代と言うべきであろう。

上述の岩石をやや厚めの薄片にし、黒雲母の表面をエッチングし、track を数え、次いで熱中性子照射を行ない、冷却後再び表面をエッチングして track を数え、前後の track の数から(4)式を用いて T を測定した、

4. 測定結果と考察

従来の方法で既に報告のあるものと比較するために、層序と共に Table 1 に得た結果を示す。

Table 1. Comparison of ages determined by various methods.

Nomenclature of rock unit by McKELVEY <i>et al.</i> ¹⁾			Age 10 ⁶ years		
	Group	Formation	K-Ar method	Rb-Sr method ⁷⁾	Fission track* method
Cretaceous Jurassic		Ferrar Dolerite	159-162 ⁵⁾	154-163	150
Jurassic-Devonian	Beacon Sandstone				
Lower Paleozoic	Victoria Intrusives	Vanda Lamprophyre			
		Vida Granite	185-210 ⁵⁾		200
	Wright Intrusives	Theseus Granodiorite			
		Lake Microdiorite			
		Dais Granite	520 ⁶⁾	480-500	520
Upper Cambrian		Olympus Granite		450-650	

5, 6, 7) Reference number, * Present work.

Dais Graniteをはじめ, Vida Granite, および Ferrar Dolerite について非常によい一致を示していることがわかる. Dais Granite よりも古いと報告されている Olympus Granite については試料が無く, 比較することができなかった.

さきに述べたように, fission track による方法は熱の影響で消滅するので, 岩石が固化してから現在までの間に大きな熱変質を受けていないと考えられる試料には, 固化年代を示すことができる. しかし, 熱変質を受けた場合には, その後の年代を示す可能性がある. 本地域においては, 熱の影響を受け易い K-Ar 法による年代決定の結果も, また熱の影響を比較的受け難いとされている Rb-Sr 法の結果も, 比較すると fission track の結果と同様であった. このことにより, 本地域の岩石が固化後大きな熱変質を受けていないことが推定できる.

また, 三つの異なった方法で定めた数字がほぼ一致していることは, これらの試料である岩石の年代を正確に定め得たことになる. 従来の層序学的な年代で表示されている Ferrar

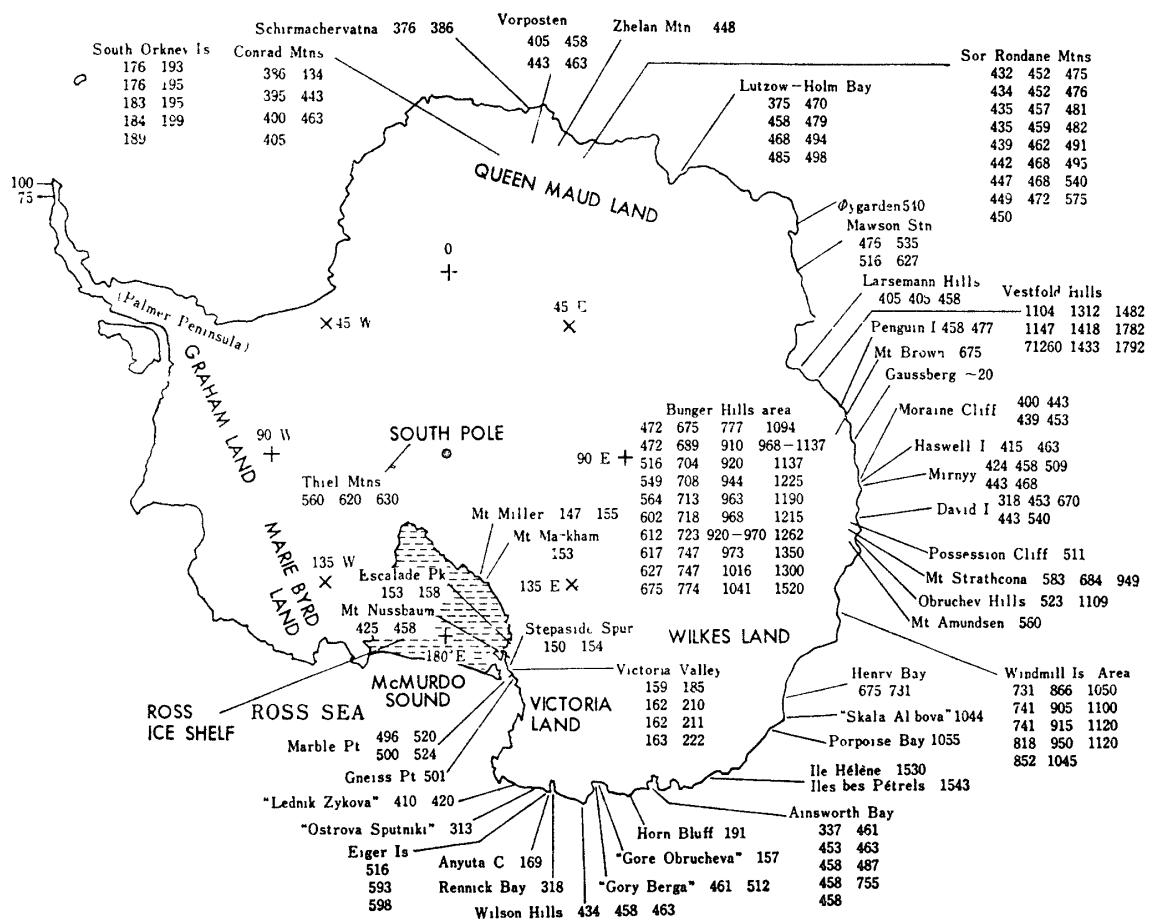


Fig. 2. Geological ages of rocks from Antarctica (WEBB) (10^6 years).

Dolerite の Jurassic 紀や, Lower Cambrian の時代とされている Dais Granite の年代も, Table 1 に示したように数字で表示してまちがいはなさそうである.

南極全般について従来の年代決定法によって得られたものを WEBB が総合して, Fig. 2 に提示しているが⁸⁾, これに筆者らの結果が加えられる. 広大な南極大陸の露岩地帯の年代が順次定められることは, 地球化学の研究においても必要なことである.

5. お わ り に

本研究は従来の年代決定法に加え, 簡易な fission track による方法で, Dry Valley の二三の岩石の年代を定めた. 黒雲母以外の岩石構成鉱物についても同様に年代決定が行なえるので今後はそれらについても試みたい. 次に Olympus Granite について年代を定めると共に昭和基地附近の試料についても本法を試みるつもりである.

本研究は米国国立科学財団南極計画局の後援のもとに行なわれた. 現地調査に当たっては, 米国南極観測隊の協力をいただいた. また, 試料採集にあたって, 同行した日本隊の鳥居鉄也, 山県 登, 古賀昭人の諸氏の助力をいただいた. 記して感謝の意を表する. なお, 測定に要した費用の一部は文部省総合研究“アイソトープを利用する地質年代決定法の研究”によった.

文 献

- 1) McKELVEY, B. C. and P. N. WEBB: Geological investigations in southern Victoria Land, Antarctica. Pt. 3. Geology of Wright Valley. N. Z. J. Geol. Geophys., 5, 143-162, 1962.
- 2) 島 誠: 南極と地球化学. 化学の領域, 20(8), 27-34, 1966.
- 3) 島 誠, 天野貞代, 岡田昭彦: 固体内の荷電粒子飛跡によるウランの分析と年代決定法. 理研報告, 42, 205-210, 1966.
- 4) FLEISCHER, P. L., P. B. PRICE and R. M. WALKER: Tracks of charged particles in solids Science, 149, 383-393, 1965.
- 5) McDougall: Potassium-Argon age measurements on dolerites from Antarctica and South Africa. J. Geophys. Res., 68, 1535-45, 1963.
- 6) Goldich, S. S., A. O. Nier and A. L. Washburn: A^{40}/K^{40} age of Gneiss from McMurdo Sound, Antarctica. Trans. Am. Geophys. Un., 39, 956-958, 1958.
- 7) Deutsch, S. and P. N. Webb: Antarctic Geology, SCAR, 557-571, 1963.
- 8) Webb, P. N. and G. Warren: Isotope dating of Antarctic rocks, a summary. N. Z. J. Geol. Geophys., 8, 221-230, 1965.

(1967年5月17日受理)